



УДК 550.83:551.214(265.53):681.3

Ю. И. Блох¹, В. И. Бондаренко², А. С. Долгаль³,
П. Н. Новикова³, В. А. Рашидов⁴, А. А. Трусов⁵

¹ Москва, yuri_blokh@mail.ru;

² Костромской ГУ им. Н. А. Некрасова, г. Кострома;

³ Горный институт УрО РАН, г. Пермь;

⁴ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

⁵ ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва

Комплексные геофизические исследования вулканического массива Рикорда (Курильская островная дуга)

Подводный вулканический массив Рикорда расположен в Курильской островной дуге между островами Кетой и Ушишир. Интерпретация материалов комплексных геофизических исследований массива Рикорда была выполнена с помощью разработанной авторами технологии моделирования данных гидромагнитной съёмки в комплексе с эхолотным промером, непрерывным сейсмоакустическим профилированием и анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород. В результате выполненных исследований получены данные о морфологии подводного вулканического массива Рикорда, петромагнитных свойствах пород, слагающих вулканическую постройку и распределении аномалиеобразующих объектов в ней.

Введение

Подводный вулканический массив (подводный вулкан по [7]) Рикорда, названный в честь известного отечественного мореплавателя, исследователя Дальневосточных морей адмирала Петра Ивановича Рикорда [3], расположен в Курильской островной дуге (КОД) в центральной части одноименного пролива между островами Кетой и Ушишир (рис. 1). В «Каталог подводных вулканов КОД» он включен под номером 4.6 [7].

Массив Рикорда был исследован в рейсах Института океанологии АН СССР и в 5 рейсах Института вулканологии ДВО АН СССР на НИС «Вулканолог» в 1982–1991 гг. [3, 7]. В рейсах на НИС «Вулканолог» были выполнены эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульная гидромагнитная съёмка (ГМС) и драгирование со склонов и вершин подводного вулканического массива.

Результаты и их обсуждение

Плосковершинный подводный вулканический массив Рикорда располагается в центральной части одноименного пролива. Он вытянут в субмеридиональном направлении и отделяется от о-ов Ушишир понижением рельефа до глубины 600–700 м, а от о. Кетой — до 350–450 м. Северные, западные и восточные склоны массива очень крутые, до 20–30°. Южные склоны более пологие — 3–7°. Подножие массива располагается на глубинах 600–700 м. Мощность

перекрывающих его основание осадочных отложений незначительна, что позволяет предположить плейстоценовый возраст образования массива.

Плоская вершина массива, размером 2×9 км, находится на глубинах 130–150 м (рис. 2а рис. 3). Размер основания массива Рикорда 9×19 км, а объём — около 50 км³. Углы наклона склонов южной части массива Рикорда — 5–7°, восточных и западных — 15–20°, а северной части — 30°.

Судя по характеру сейсмоакустического изображения, в строении массива принимают участие как плотные эффузивные, так и рыхлые, по-видимому, пирокластические и осадочные образования.

Данные НСП позволяют выделить четыре сливающиеся по основанию постройки, сложенные, вероятно, преимущественно плотными вулканическими породами (рис. 4). При этом вулканы 1, 2, 4 имеют плоские вершины на глубине около 150 м, между ними отмечаются небольшие понижения в рельефе дна до 200 м. Глубина плоских вершин вулканов соответствует уровню позднеплейстоценовой подводной террасы, сформировавшейся в результате значительного понижения уровня моря во время последнего оледенения. Это позволяет предполагать доголоценовый возраст вулканических построек, слагающих массив Рикорда. Между вулканами 1 и 2 по данным НСП отмечается своеобразная толща сложно переслаивающихся отложений, характеризующихся многочисленными протяженными наклонными интенсивно отражающими грани-

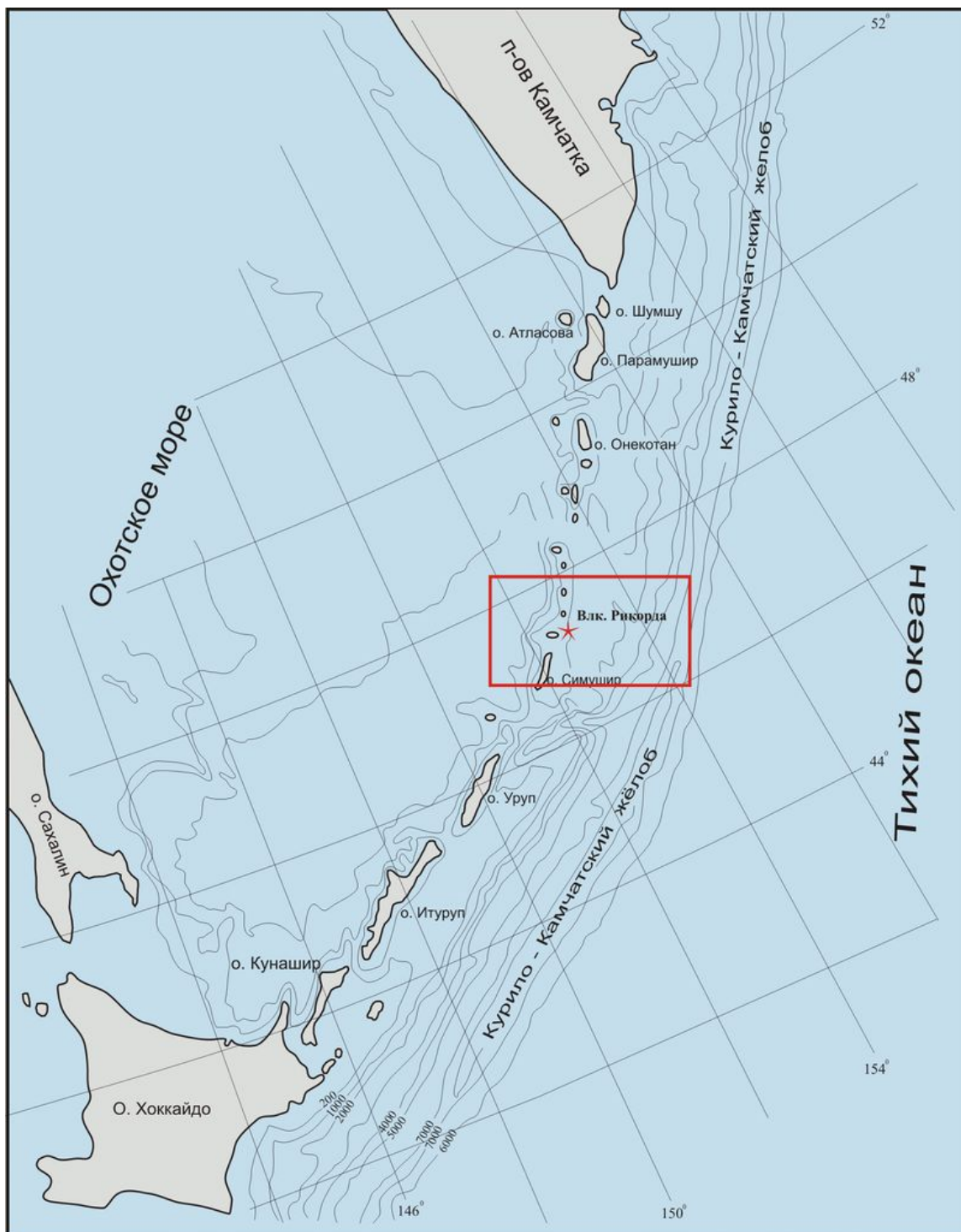


Рис. 1. Местоположение подводного вулканического массива Рикорда.

цами (рис. 4). Мощность их — порядка 0,25–0,3 с. в масштабе удвоенного времени распространения сигнала (УВ), что может соответствовать 250–300 м при скорости звука 2000 м/с. Источником материала для формирования этой толщи являлись вулканы 1 и 2, при этом материал с обоих вулканов поступал синхронно. Вероятно, эти отложения сформировались в позднем плейстоцене в результате отложения материала, образовавшегося при срезании

вершин вулканов. Вулкан 3 в настоящее время полностью погребён, его вершина находится на глубине 230–250 м.

На южных относительно пологих склонах массива отчётливо дешифрируются клиноформы бокового наращивания с тангенциальной косою слоистостью (рис. 4). Суммарная мощность этого комплекса от 0,3 с. УВ в верхней части до 0,2 с. УВ у подножия массива. Наблюдаемая картина свидетель-

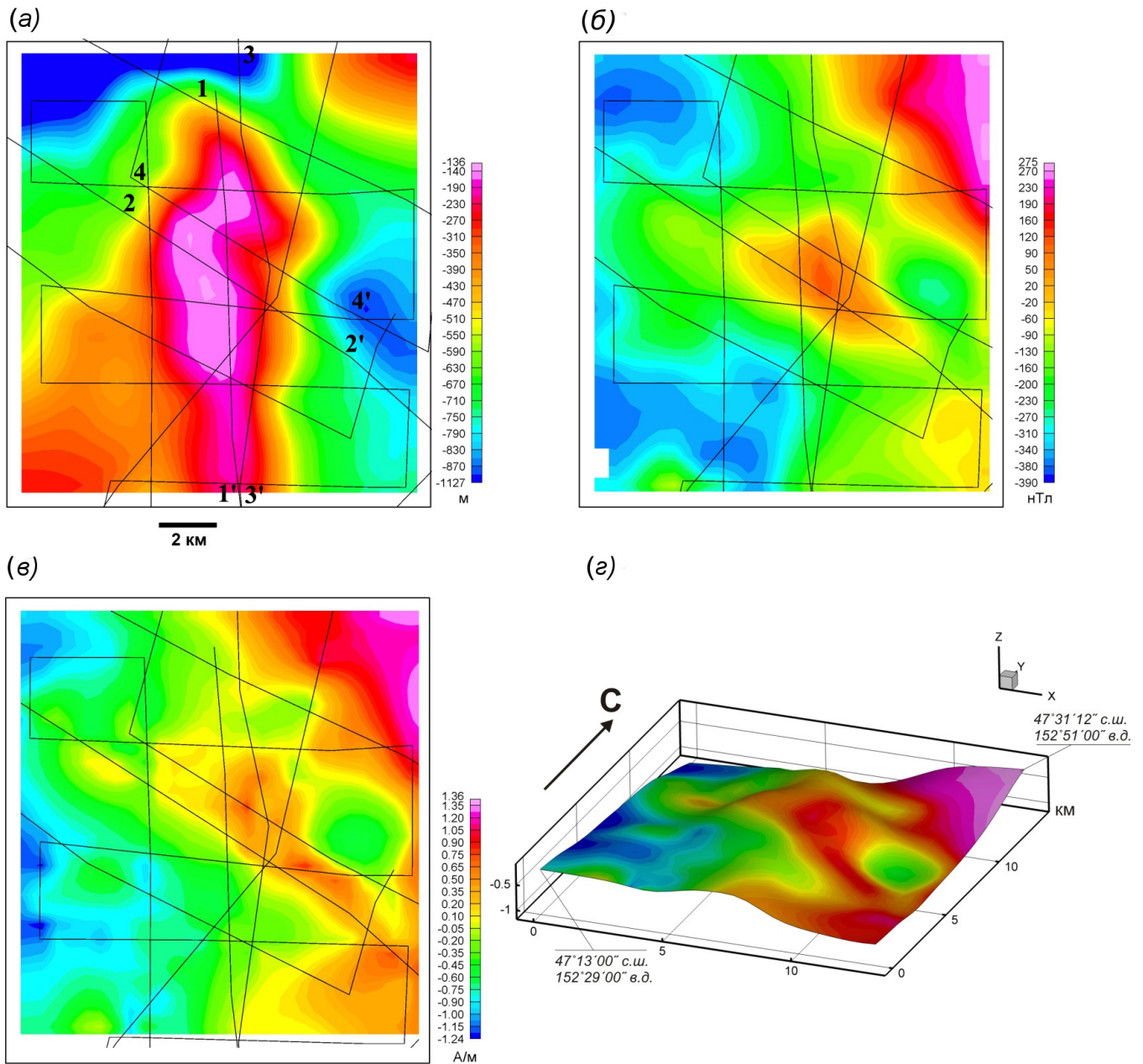


Рис. 2. Подводный вулканический массив Рикорда: а — батиметрия; б — аномальное магнитное поле ΔT_a ; в — распределение эффективной намагниченности вулкана; г — распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана. Цифрами обозначены профили, приведенные на рис. 4, 6 и 8.

ствует о высокоэнергетической обстановке осадконакопления с интенсивным поступлением рыхлого материала, а также указывает на вулкан 4, как на главный источник материала. Вероятнее всего, этот материал также образовался в результате эрозии вершинной части массива Рикорда в позднем плейстоцене.

Рельеф прилегающих к массиву участков дна неровный. Вероятно, это обусловлено активной эрозионной деятельностью течений, особенно приливо-отливных, скорость которых в проливе может достигать 1,5–4 узлов.

При драгировании привершинной части массива были подняты разнообразные породы (рис. 5) — от базальтов до риодацитов, представленные, в основном, свежими угловатыми обломками [7].

Выполненные петромагнитные исследования показали, что среди драгированных пород наиболее магнитными оказались базальты, естественная остаточная намагниченность (ЕОН) которых достигает 10 А/м, а наименее магнитными — андезиты, ЕОН которых не превышает 0,6 А/м (ΔT_a таблица).

Аномальное магнитное поле подводного вулканического массива Рикорда имеет сложный мозаичный

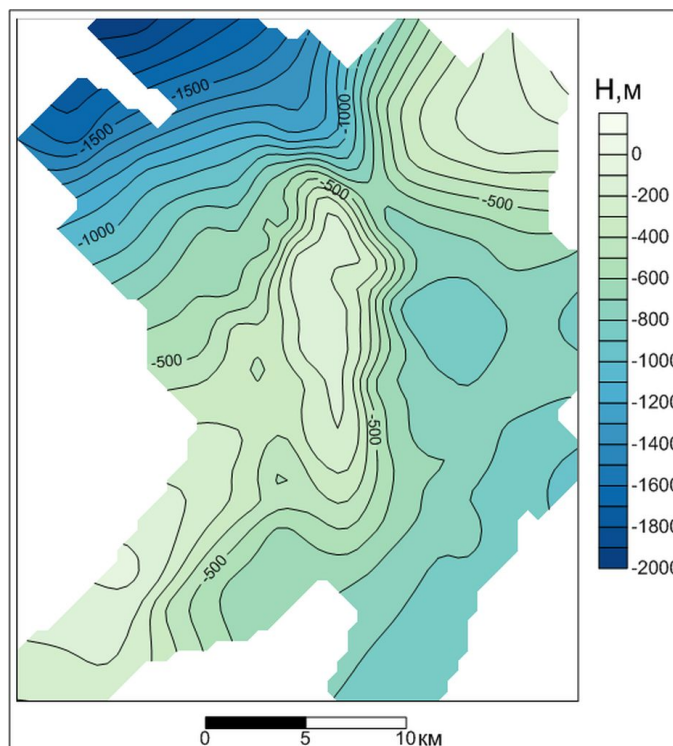


Рис. 3. Батиметрическая карта подводного вулканического массива Рикорда. Изобаты проведены через 100 м.

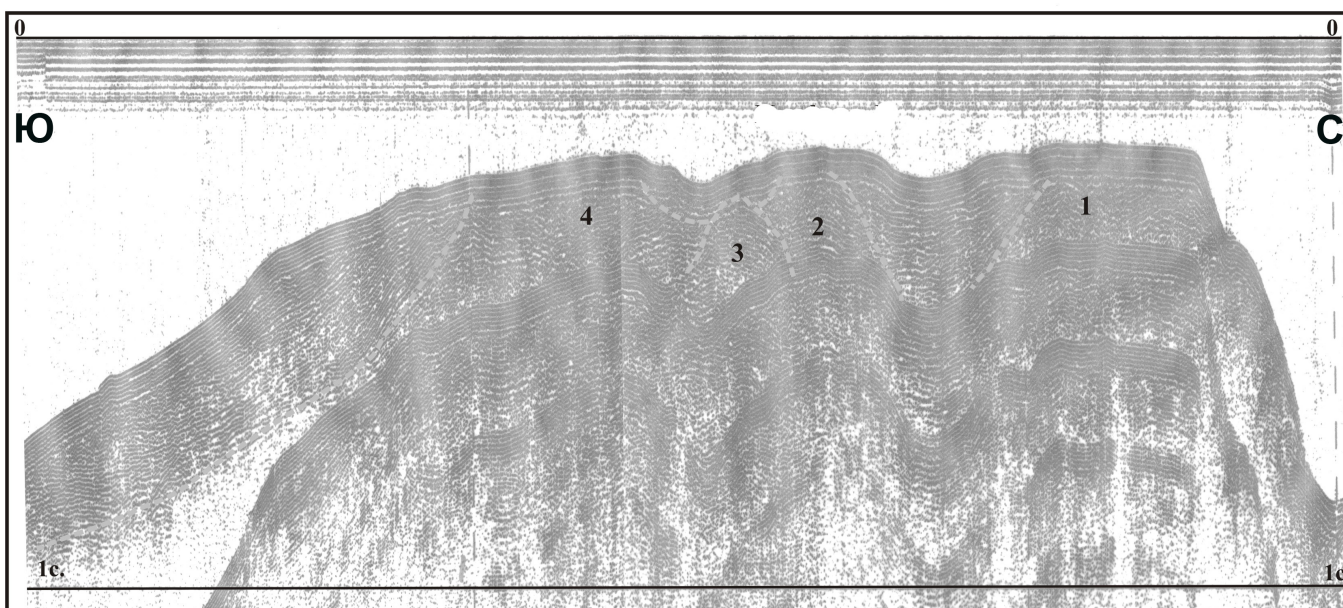


Рис. 4. Профиль 1–1' НСП через подводный вулканический массив Рикорда. Местоположение профиля приведено на рис. 2а.

характер, косвенно подтверждая его образование из нескольких вулканических конусов. Интенсивность магнитных аномалий в пределах массива изменяется в диапазоне $(-500 \div +1000)$ нТл.

Интерпретация материалов комплексных геофизических исследований была выполнена с помощью разработанной авторами технологии моделирования данных ГМС в комплексе с эхолотным промером,

НСП и анализом ЕОН и химического состава драгированных горных пород [4, 5]. При этом применялись разнообразные методы интерпретации, одни из которых ориентированы на 2D и 2.5D-анализ магнитного поля на отдельных галсах, а другие — на 3D-анализ по всему массиву наблюдений. При расчётах использовался истинный рельеф вулканических построек, с учётом погребенного под осадками осно-

. Магнитные свойства пород, драгированных на подводном вулканическом массиве Рикорда

№ п/п	Количество образцов	Горная порода	Диапазон изменения остаточной намагниченности J_n , А/м	Диапазон изменения магнитной восприимчивости χ , $\cdot 10^{-3}$ ед. СИ
1	10	Базальт	5,02–9,97	3,08–13,40
2	5	Андезобазальт	3,83–4,09	8,92–9,2
3	4	Андезит	0,18–0,59	7,63–20,40



Рис. 5. Образцы горных пород, драгированных на подводном вулканическом массиве Рикорда.

вания, полученный по данным эхолотного промера и НСП. Для уточнения глубинного строения подводных вулканов использовался анализ особых точек, интерпретационная томография и монтажный метод решения обратной задачи магнитометрии (ОЗМ).

Анализ особых точек функций, описывающих аномальные поля на отдельных галсах, проводился с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР [6]. Полученные результаты показали приуроченность основных особенностей функций, описывающих аномальные поля, к верхней кромке вулканических пород (рис. 6) и подтвердили наличие четырёх вулканических построек, выделенных по данным НСП. Помимо этого, методы особых точек позволили предположить субвертикальное, юго-западное и юго-юго-восточное направления подводящих каналов и наличие на глубине ~ 2 км периферических магматических очагов.

Трёхмерное моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D [1, 2] показало, что максимальная эффективная намагниченность вулканического массива Рикорда достигает 0,7 А/м (рис. 2). При этом среднеквадратическая погрешность подбора аномального магнитного поля после 70 итераций составила 30 нТл.

Исходными данными для построения куба информации послужили значения первой вертикальной производной магнитного поля $\partial \Delta T_a / \partial z$. По результатам томографических построений в пределах плосковершинной вулканической постройки выделены две зоны горных пород с повышенными магнитными свойствами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга (рис. 7). Магнитовозмущающие объекты, отвечающие этим изометричным аномалиям, прослеживаются на глубину порядка 5–6 км.

По серии галсов была решена ОЗМ монтажным методом в смешанной постановке с определением вектора эффективной намагниченности $J_{эф}$. Решение задачи проводилось для нескольких тел одновременно. В результате, для каждого профиля был получен набор эквивалентных моделей среды. Были выбраны модели, дающие среднеквадратическое расхождение с исходным полем, не превышающее 10 нТл. Оценка достоверности моделирования была выполнена с использованием вероятностно-статистического подхода.

В пределах вулканического массива Рикорда выделено три крупных магнитовозмущающих блока. Первый соответствует центральной положительной аномалии, прослеживается на глубину до 5 км, имеет наклонное падение в северо-западном направлении, о чём свидетельствует вытянутая форма аномалии магнитного поля. Средняя эффективная намагниченность блока составила 1,4 А/м с углом отклонения от вертикали вектора $J_{эф}$ порядка 20–25°. Второй субвертикальный магнитовозмущающий блок расположен на небольшом удалении (~ 1 км) от первого и, возможно, является его частью. Средняя эффективная намагниченность его составила 1,4 А/м с углом намагничивания, близким к вертикальному. Третий блок соответствует второй положительной аномалии, является наклонным телом с субмеридиональным падением с $J_{эф} = 1,52$ А/м и углом намагничивания, отличным от вертикального на 25–30°.

При этом наблюдается хорошее соответствие интерпретационных построений с результатами НСП и анализа особых точек функций, описывающих аномальные поля. Первый блок, выделенный в результате решения ОЗМ, соответствует вулканическим постройкам 2 и 3, второй — постройке 4, а третий — постройке 1.

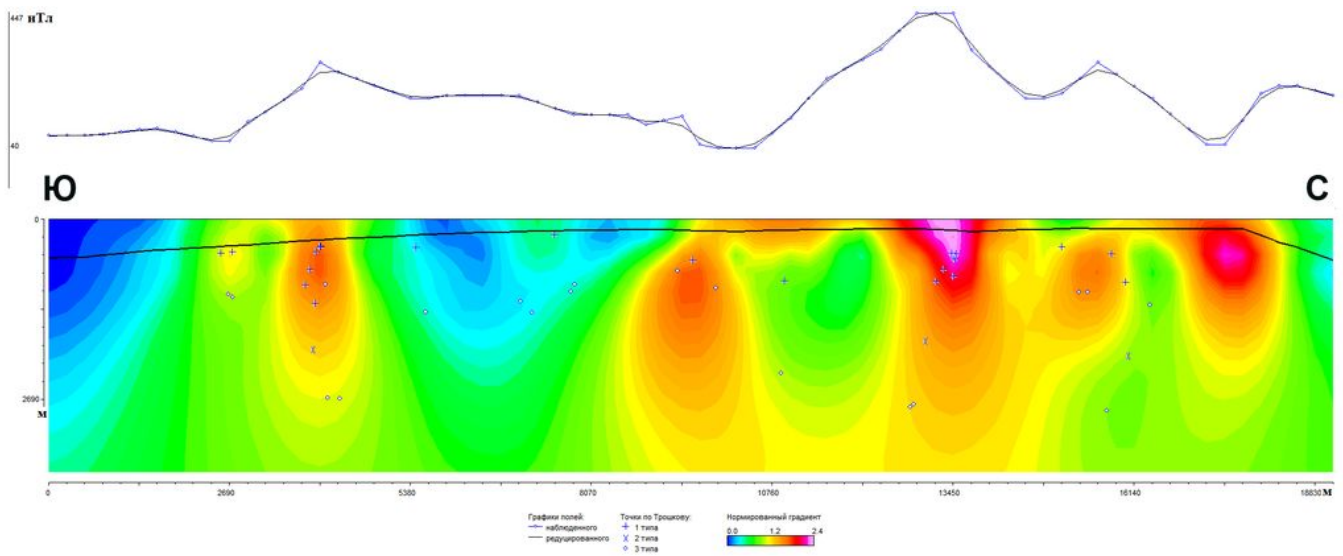


Рис. 6. Изображения, синтезированные системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функций, описывающих anomalous magnetic field ΔT_a подводного вулканического массива Рикорда на профиле 1-1'. Местоположение профиля приведено на рис. 2а.

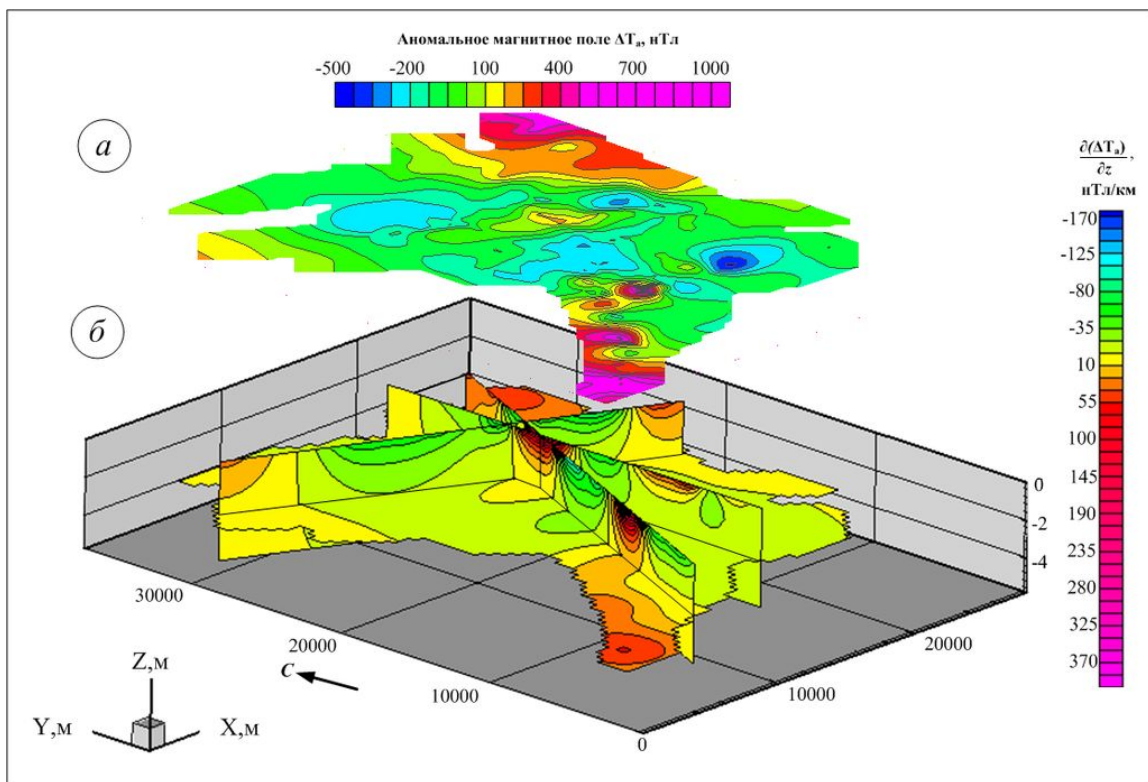


Рис. 7. Изолинии anomalous magnetic field ΔT_a (а) и 3D-диаграмма (б), отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород подводного вулканического массива Рикорда.

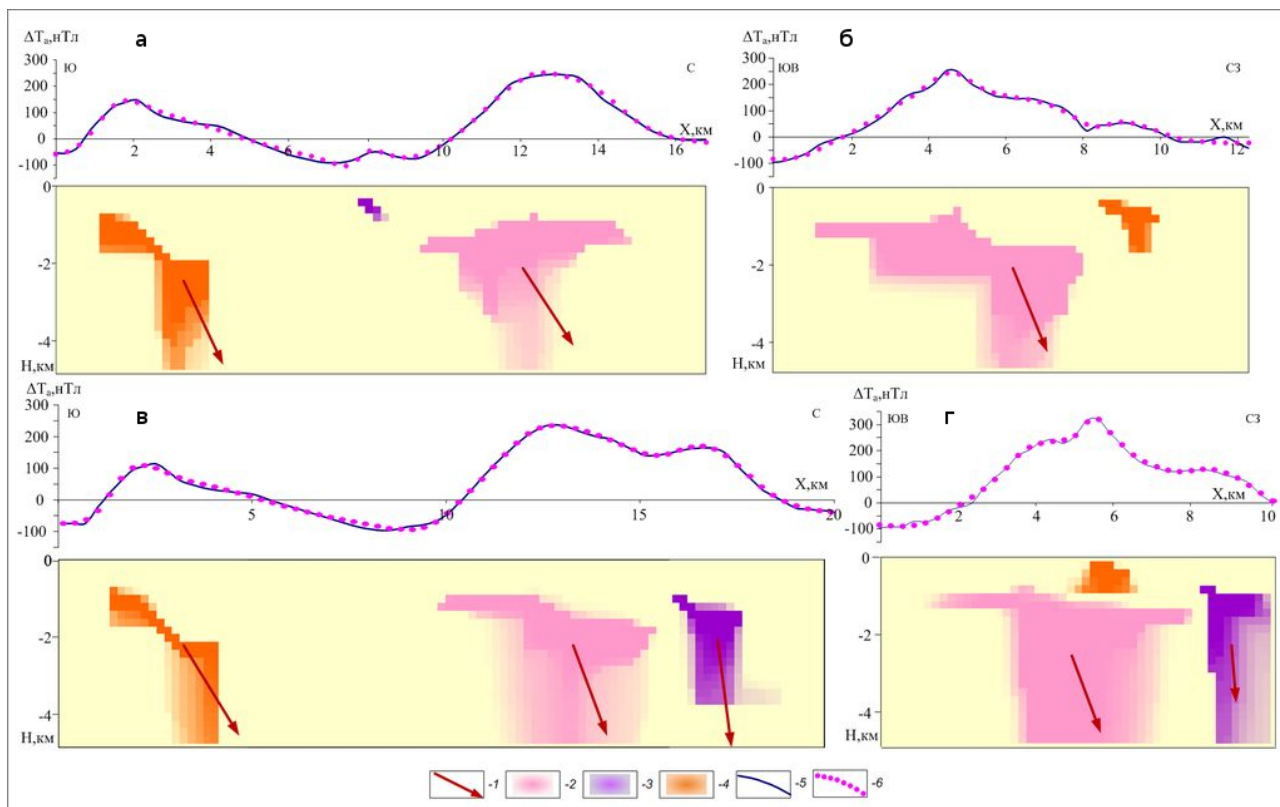


Рис. 8. Результаты решения обратной задачи магниторазведки монтажным методом для профилей 1–1' (а), 2–2' (б), 3–3' (в), 4–4' (г): 1 — вектор намагниченности $\mathbf{J}_{эф}$; 2 — блок 1; 3 — блок 2; 4 — блок 3; 5 — магнитное поле ΔT_a ; 6 — модельное поле. Наиболее интенсивная раскраска для каждого объекта соответствует наибольшей вероятности наличия магнетовозмущающего источника. Местоположение профилей представлено на рис. 2а.

Заключение

Применяемая авторская технология моделирования оказалась весьма эффективной при изучении подводного вулканического массива Рикорда.

В результате выполненных исследований изучена морфология подводного вулканического массива Рикорда, состоящего из четырёх вулканических построек. Определены петромагнитные свойства горных пород, слагающих вулканический массив, и получены данные о распределении аномалиеобразующих объектов в нём.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00156-а, 12-05-00414-а, 12-05-31138-мол_а) и программе исследований ОНЗ РАН (проект 12-Т-5-1012).

Список литературы

1. Бабаянц П. С., Блох Ю. И., Бондаренко В. И. и др. Применение пакета программ структурной интерпретации СИГМА-3D при изучении подводных вулканов Курильской островной дуги // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. №2. Вып. 6. С. 67–76.
2. Бабаянц П. С., Блох Ю. И., Трусов А. А. Интерпретационная томография по данным гравиразведки и магниторазведки в пакете программ «СИГМА-3D» //
3. Безруков Л. П., Зенкевич Н. Л., Канаев В. Ф., Удинцев Г. Б. Подводные горы и вулканы Курильской островной гряды // Труды лаборатории вулканологии. 1958. Вып. 13. С. 71–88.
4. Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1 (Курильская островная дуга) // Геофизика. 2012а. №2. С. 58–66.
5. Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012б. №4. С. 8–17.
6. Блох Ю. И., Каплун Д. В., Коняев О. Н. Возможности интерпретации потенциальных полей методами особых точек в интегрированной системе «СИНГУЛЯР» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1993. №6. С. 123–127.
7. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Пушаровский Ю. М. М.: Наука, 1992. 528 с.

Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 31 сессии Междунар. семинара им. Успенского Д. Г. М.: ОИФЗ РАН. 2004. С. 88–89.